



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## DRUHY PRINCIPY VODOJEMŮ

TYPES AND PRINCIPLES OF WATER RESERVOIRS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Cakl

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. František Pochylý, CSc.

BRNO 2019

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Vojtěch Cakl**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. František Pochylý, CSc.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Druhy a principy vodojemů

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce bude zaměřena na popis stávajících vodojemů a jejich funkci, zejména pro účely závlah. To v první části.

Druhá část práce bude mít tvůrčí charakter, spočívající ve vlastním návrhu, tzv. multifunkčních vodojemů, které budou plnit více účelů v závislosti na vztahu ke krajině.

#### Cíle bakalářské práce:

Popis stávajících vodojemů, jejich koncepce a funkce.

Návrh objemu vodojemů podle účelu.

Návrh multifunkčních vodojemů se zřetelem na blízkost města, vodní nádrže a volné krajiny.

#### Seznam doporučené literatury:

CENGEL, Yunus A. a John M. CIMBALA. Fluid mechanics: fundamentals and applications. 2nd ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, c2010. ISBN 00-772-9546-3.

BRDIČKA, Miroslav. Mechanika kontinua. Praha: Československá akademie věd, 1959. Úvod do teoretické fyziky.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá popisem vodojemů, zejména pro účely závlah. V první části práce je přehled jejich funkcí a rozdělení podle účelu a umístění vůči spotřebišti. Dále se práce zabývá návrhem objemu akumulací nádrže podle účelu. Následně je popsána konstrukce, tvarové provedení a vybavení vodojemu. Dále je na jednoduchém příkladu vysvětlen jeho princip. Poslední část bakalářské práce se zaměřuje na tzv. multifunkční vodojemy, které plní více účelů ve vztahu ke krajině. Obsahuje ukázky exitujících multifunkčních vodojemů a vlastní návrh jednoho takového.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Vodojem, nádrž, nosná konstrukce, základy, potrubí, beton, ocel, multifunkční vodojem

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with decription of the water reservoirs, in particular for the purposes of the irrigation. In the first part of the thesis is overview of the functions and distribution by purpose and location to the consumption. Following is the proposal of the storage tank volume by purpose. In next part there is a description of the construction, shape and equipment of the water reservoir. Subsenquently there is expalained the principle on simple arithmetical example. The last part of the bachelor thesis focussing of multifunctional water reservoirs and their functions in relation to the landscape. It contains some examples and proper scheme of multifunctional water reservoir.

## **KEYWORDS**

Water reservoir, water tank, supporting structure, foundations, piping, concrete, steel, multifunctional water reservoir

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CAKL, V. *Druhy a principy vodojemů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 48 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. František Pochylý, CSc.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Františka Pochylého, CSc. a že jsem uvedl všechny použité literární a internetové zdroje.

V Brně dne 24.05.2019

.....

Vojtěch Čákl

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Františku Pochylému, CSc. za odborné vedení, cenné rady, připomínky, čas a trpělivost, které mi v průběhu vypracovávání věnoval. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu během celého studia.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>HLAVNÍ FUNKCE A ROZDĚLENÍ VODOJEMŮ</b>	<b>11</b>
1.1	Vodojemy rozdělené podle účelu	12
1.1.1	Zásobní (akumulační) vodojem	12
1.1.2	Hlavní vodojem	12
1.1.3	Přerušovací (pásmový) vodojem	12
1.1.4	Vyrovňovací vodojem	12
1.1.5	Požární vodojem	13
1.1.6	Provozní vodojem	13
1.1.7	Vodojem prací vody	13
1.2	Vodojemy podle umístění vůči spotřebišti	13
1.2.1	Vodojem před spotřebištem (čelní)	13
1.2.2	Vodojem ve spotřebišti	13
1.2.3	Vodojem za spotřebištem (koncový)	14
1.2.4	Vodojem před a za spotřebištem (čelní a koncový)	14
<b>2</b>	<b>VÝPOČET OBEJMU AKUMULAČNÍ NÁDRŽE</b>	<b>15</b>
2.1	Výpočet využitelného objemu zásobního vodojemu	15
2.1.1	Stanovení vyrovnávacího objemu $A_v$	15
2.1.2	Stanovení požární zásoby $A_{pož}$	16
2.1.3	Stanovení poruchové zásoby $A_{por}$	17
2.2	Výpočet využitelného objemu přerušovacího (pásmového) vodojemu	17
2.3	Výpočet využitelného objemu vyrovnávacího vodojemu	17
<b>3</b>	<b>KONSTRUKCE, TVAROVÉ PROVEDENÍ A VYBAVENÍ VODOJEMU</b>	<b>18</b>
3.1	Podzemní vodojemy	18
3.1.1	Podzemní vodojemy z kamenů a cihel	18
3.1.2	Podzemní vodojemy z prostého betonu	18
3.1.3	Podzemní vodojemy s válcovými nádržemi	19
3.1.4	Podzemní nádrže s kvádrovými nádržemi	20
3.1.5	Podzemní vodojemy s nádržemi čokovitého tvaru	21
3.1.6	Podzemní montované trubní vodojemy	22
3.1.7	Manipulační komory podzemních vodojemů	22
3.2	Nadzemní vodojemy s nezasýpanou nádrží	23
3.2.1	Nadzemní vodojemy ze smaltovaných plechů	23
3.3	Věžové vodojemy	23
3.3.1	Věžové vodojemy s ocelovými nádržemi	24



3.3.2	Věžové vodojemy se železobetonovými nádržemi.....	26
3.3.3	Věžové vodojemy s monolitickými předepjatými nádržemi.....	27
3.3.4	Montované železobetonové vodojemy .....	27
3.3.5	Věžové železobetonové vodojemy se zdvihanými nádržemi.....	28
3.3.6	Komínové vodojemy .....	29
<b>4</b>	<b>TEPELNÁ IZOLACE, VODOTĚSNOST, VYSTROJENÍ A OSTATNÍ NÁLEŽITOSTI VODOJEMU .....</b>	<b>30</b>
4.1	Tepelná izolace .....	30
4.1.1	Tepelná izolace podzemních vodojemů.....	30
4.1.2	Tepelná izolace nadzemních vodojemů.....	30
4.2	Vodotěsnost.....	31
4.3	Vystrojení vodojemů.....	31
4.3.1	Trubní rozvody .....	31
4.4	Ostatní náležitosti vodojemu.....	32
<b>5</b>	<b>PRINCIP VODOJEMŮ .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>MULTIFUNKČNÍ VODOJEMY .....</b>	<b>38</b>
6.1	Příklady multifunkčních vodojemů.....	38
6.2	Vlastní návrh multifunkčního vodojemu .....	40
	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUSE .....</b>	<b>41</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>42</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ .....</b>	<b>47</b>

# ÚVOD

Voda je jednou nejcennějších komodit na světě. Je důležitá pro vše živé a je nutné ji využívat s rozvahou a co možná nejefektivněji.

V dřívějších dobách lidé využívali přírodní zdroje vody jako jsou studny. Během průmyslové revoluce v 18. a 19. století došlo k značnému znečištění přírodních zdrojů zejména okolo měst. Lidé zpozorovali, že pití takové vody zapříčinilo nemoci jako cholera nebo tuberkulóza. Tyto nemoci způsobovaly bakterie, kterým se ve znečištěné vodě dařilo. Bylo nutné přivést čistou vodu z větších vzdáleností, čímž vznikaly první vodovodní sítě. Postupem času se se zvyšující spotřebou začala objevovat nutnost předzásobení vodou a vznikly první vodojemy. Vodovodní sítě přivedly vodu bez námahy do spotřebiště, a zároveň umožňovaly kontrolu její kvality.

Vodojemy jsou zásobníky, které slouží k akumulaci pitné nebo užitkové vody. Dnes je funkce vodojemů a celého vodovodního systému ještě důležitější. Na vodovodní přípojku je v současnosti napojena každá domácnost, průmyslové nebo zemědělské podniky nebo zavlažování.

Po celém světě existují tisíce podzemních a nadzemních vodojemů. Některé jsou už mimo provoz, zároveň se ale vyvíjejí nové. Dnešní moderní vodojemy se navrhují nejen pro akumulaci vody, ale objevuje se snaha je používat i pro jiné účely v závislosti na vztahu ke krajině. Může se jednat o obnovitelné zdroje (větrné elektrárny, solární panely), turistické využití (rozhledny, galerie, restaurace).

Bakalářská práce se v první části bude zabývat popisem funkcí zásobníků, rozdělením podle účelu, umístěním vůči spotřebišti a návrhem akumulační nádrže podle účelu. Další pasáž obsáhne popis konstrukce, tvaru a vybavení, kde bude vysvětleno, z jakých materiálů se vodojemy vyrábí, z jakých částí se skládají, co je to manipulační komora, jaké druhy potrubí se využívají. Nakonec bude na jednoduchém příkladu vysvětlen princip fungování vodojemů.

Druhá část práce bude zaměřena na tzv. multifunkční vodojemy. Bude zde uvedeno několik příkladů ze současnosti a vlastní návrh takového vodojemu.

# 1 HLAVNÍ FUNKCE A ROZDĚLENÍ VODOJEMŮ

Vodojem je vodárenský objekt pro akumulaci vody. Má různý tvar, konstrukci, umístění a plní jednu nebo více z následujících funkcí: [8]

- Vyrovňovací funkce – slouží k tomu, aby se vyrovnala nerovnoměrná spotřeba s rovnoměrným přítokem
- Tlaková funkce – zajišťuje potřebný hydrostatický a hydrodynamický přetlak ve spotřebišti
- Rezervní funkce – zajišťuje dostatečnou zásobu vody pro případ údržby nebo poruchy přítoku nebo zdroje
- Protipožární zabezpečení spotřebiště

Vodojemy lze rozdělit podle následujících kritérií:

## 1. Podle účelu:

- zásobní (akumulační) vodojem,
- hlavní vodojem,
- přerušovací (pásmový) vodojem,
- vyrovnávací vodojem,
- požární vodojem,
- provozní vodojem,
- vodojem prací vody.

## 2. Podle umístění vůči spotřebišti:

- vodojem před spotřebištem (čelní),
- vodojem ve spotřebišti,
- vodojem za spotřebištem (koncový),
- vodojem před a za spotřebištem.

## 3. Podle konstrukce tvaru a umístění akumulační nádrže:

- zemní vodojem
  - čočkovitého tvaru
  - s válcovými nádržemi
  - s kvádrovými nádržemi
  - trubní vodojem
- nadzemní vodojem s nezasypanou nádrží
  - s válcovými nádržemi
  - s kvádrovými nádržemi
  - ze smaltovaných plechů
- věžové vodojem
  - s ocelovými nádržemi
  - se železobetonovými nádržemi
  - s monolitickými předpjatými betonovými nádržemi
  - montované železobetonové věžové vodojem
  - věžové železobetonové vodojem se zdvihanými nádržemi
  - komínové vodojem

## 1.1 Vodojemy rozdělené podle účelu

### 1.1.1 Zásobní (akumulační) vodojem

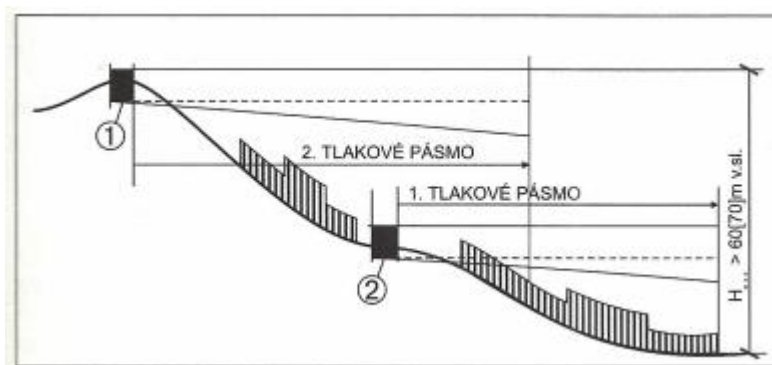
Účelem tohoto vodojemu je zajistit dostatečnou zásobu vody a potřebný tlak ve spotřebišti. Vyrovnává rovnoměrný přítok s nerovnoměrným odběrem. K jeho naplnění dochází tehdy, když je přítok větší než odběr. Když je větší odběr než přítok, dochází k jeho vyprazdňování. Plní všechny funkce uvedené v úvodu této kapitoly. [1]

### 1.1.2 Hlavní vodojem

Jedná se o nadřazený vodojem, který tlakově ovládá všechny podřízené zásobní vodojemy. Aby tento vodojem vyvinul dostatečný tlak, musí být umístěn v dostatečné výšce. Využití má u oblastních nebo skupinových vodovodů. [5]

### 1.1.3 Přerušovací (pásmový) vodojem

Využívá se v členitém terénu, kde je velké převýšení mezi nejvyšším a nejnižším místem ve spotřebišti. Přerušovací vodojem se používá tehdy, pokud by převýšení způsobilo větší hydrostatický tlak než 0,6 – 0,7 MPa, což odpovídá výšce 60 – 70 m. Využitím tohoto vodojemu se přerušuje hydrostatický tlak a tlakové pásmo se rozdělí na dvě. Při větší členitosti území je nutné dělení na více tlakových pásem s více vodojemy. Pro převýšení 75 – 100 m jsou to tři tlaková pásma, pro 100 – 120 m čtyři. [4]

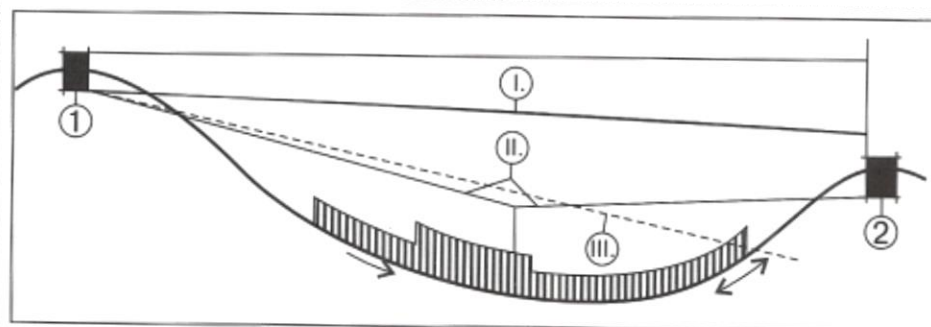


1 vodojem 2. pásma  
2 vodojem 1. pásma

1.1 Přerušovací vodojem (pásmový) [4]

### 1.1.4 Vyrovnávací vodojem

Tento vodojem se staví ve větších spotřebištech, kde nelze navrhnout jediný zásobní vodojem, který by tlakově pokryl celé spotřebišť. Problémem jsou vyšší a vzdálenější místa. Vyrovnávací vodojem zajišťuje potřebný hydrodynamický tlak i v těchto místech. Voda se do něj dostává ze spotřebního vodojemu. Jako přívodní i odběrné potrubí se používá zásobní potrubí, které vede přes spotřebišť. V době minimální spotřeby se vyrovnávací vodojem plní a v době normální nebo vysoké spotřeby se vyprazdňuje. [5]



1 vodojem  
zásobní  
2 vodojem  
vyrovnávací

1.2 Vyrovnávací vodojem [4]

### 1.1.5 Požární vodojem

Požární vodojem zajišťuje dostatečnou zásobu vody pro požární účely. Využití nachází v zemědělských a průmyslových prostorách a obytných zónách, které nemají jiný zdroj pro tyto účely. [4]

### 1.1.6 Provozní vodojem

Provozní vodojem se používá pro účely v prostorách vodárenských provozů, zejména úpraven vod. Pitná voda z vodojemu se využívá pro přípravu roztoků, údržbu, hygienu atd. [1]

### 1.1.7 Vodojem prací vody

Vodojem prací vody se používá v úpravnách vod. Voda z vodojemu slouží pro praní filtrů. [1]

## 1.2 Vodojemy podle umístění vůči spotřebišti

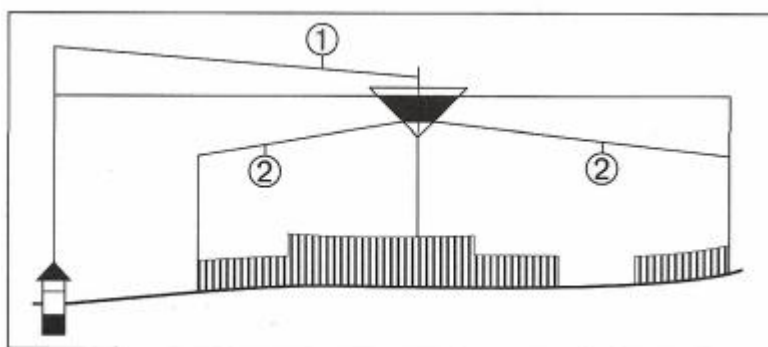
Na umístění vodojemu má vliv poloha a výškové umístění zdroje a spotřebišť, členitost terénu, velikost a uspořádání spotřebišť. Vodojem musí být v takové výšce, aby se zajistily tlakové poměry v místě spotřebišť. Jeho vzdálenost od zdroje musí být co nejmenší kvůli nižším nákladům na čerpání vody, a zároveň musí být blízko těžiště spotřebišť, aby tlakové ztráty byly co nejnižší. Na umístění vodojemů mají vliv také dobrý přístup místa, možnost připojit se k elektrické síti, geologický stav podloží v daném místě. [1]

### 1.2.1 Vodojem před spotřebišťem (čelní)

Nejčastější použití tohoto vodojemu je jako průtočný zásobní vodojem pro samospádové a výtlačné vodovody. Výhodou je známý tlak a průtok. Nevýhodou je, že spotřebišť má pouze jeden přítok. Další nevýhodou jsou vyšší náklady pro přečerpávání vody do vodojemu. [4]

### 1.2.2 Vodojem ve spotřebišti

Vodojem v těžišti spotřebišť je ekonomicky nejvýhodnější variantou vodojemu, která se uplatňuje v rovinných oblastech. Pokud je vodojem plněn výtlačným potrubím, používá se jako průtočný vodojem a má potrubí pro přívod i odběr zvlášť. Když se voda přivádí přes rozvodnou síť, používá se jedno potrubí. [4]

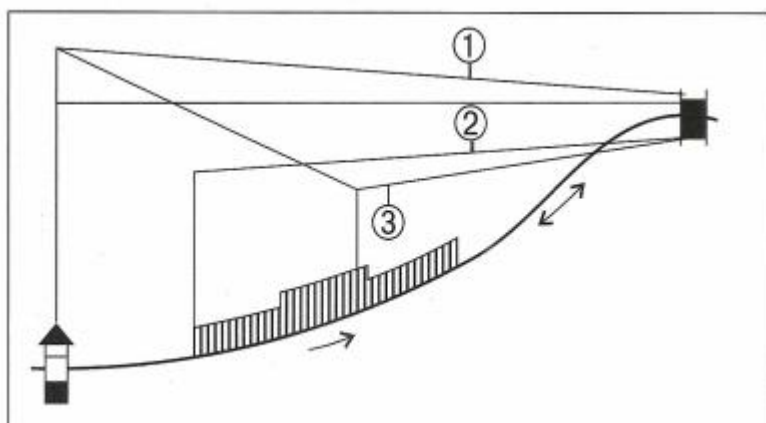


1 tlaková čára při plnění  
vodojemu  
2 tlaková čára při zásobení  
z vodojemu

1.3 Vodojem ve spotřebišti [4]

### 1.2.3 Vodojem za spotřebištem (koncový)

Tato varianta vodojemu se používá v případě, kdy vodojem před spotřebištem nedokáže kvůli ztrátám vyvinout minimální hydrodynamický přetlak, a zároveň je koncový úsek spotřebišť v podstatně větší výšce. Vodojem vyrovnává tlakové rozdíly především při největším odběru. Potrubí procházející od zdroje k vodojemu vede přes spotřebišť, takže má kromě funkce zásobní také funkci hlavního rozvodného potrubí. [1]



1 tlaková čára při plnění  
vodojemu  
2 tlaková čára při zásobení  
z vodojemu  
3 tlakové ztráty při současném  
působení VDJ a ČS

1.4 Vodojem koncový (za spotřebištem) [4]

### 1.2.4 Vodojem před a za spotřebištem (čelní a koncový)

Tento vodojem je kombinací dvou vodojemů. První vodojem je zásobní vodojem, který je umístěn před spotřebištem, druhý je vyrovnávací vodojem, který je za spotřebištem. [4]

## 2 VÝPOČET OBEJMU AKUMULAČNÍ NÁDRŽE

Využitelný objem obvykle stanovujeme ze součtu objemů, které jsou potřeba pro vyrovnání rozdílu mezi rovnoměrným přítokem do vodojemu a nerovnoměrným odběrem z vodojemu do spotřebiště v momentě maximální denní potřeby vody, pro zajištění požární zásoby a pro rezervu v případě poruchy. Využitelný objem se obvykle volí jako 60 až 80 % maximální denní spotřeby zásobovaného místa, do kterého je voda přiváděna. [12]

### 2.1 Výpočet využitelného objemu zásobního vodojemu

Akumulační objem vodojemu se stanoví v závislosti na tom, jakou funkci vykonává. Pokud zásobník vykonává více funkcí, jeho využitelný objem se stanoví jako součet objemů pro jednotlivé funkce.

Celkový akumulací objem vodojemu se vypočítá: [12]

$$A = A_v + A_{\text{pož}} + A_{\text{por}} \quad (2.1)$$

kde

A	celkový akumulací objem vodojemu	[m <sup>3</sup> ]
A <sub>pož</sub>	požární zásoba	[m <sup>3</sup> ]
A <sub>v</sub>	vyrovnávací objem, který slouží k vyrovnání rozdílu přítoku a odtoku	[m <sup>3</sup> ]
A <sub>por</sub>	poruchová zásoba	[m <sup>3</sup> ]

#### 2.1.1 Stanovení vyrovnávacího objemu A<sub>v</sub>

Vyrovnávací objem A<sub>v</sub> vychází z akumulacího procenta, které se stanoví jako rozdíl mezi přítokem a odběrem ve vodojemu. Stanoví se jako součet absolutních hodnot maximálního denního přebytku a nedostatku viz Tab. 2.1. [4]

Pro určení tohoto objemu je nutné znát časový průběh odběru vody během dne vyjádřený v procentech (odběr v jednotlivých hodinách během dne). U nových vodovodů se využívá porovnání v podobných spotřebištích. U průmyslových a zemědělských podniků se stanoví podle individuálních podkladů. [1]

Dále je potřeba vědět časový průběh přítoku do vodojemu během dne uvedený v procentech. Záleží na tom, jestli se jedná o gravitační přívod, kdy voda přitéká po celých 24 hodin nebo jestli se jedná o výtlačný přívod, kdy se voda čerpá po určitý počet hodin. [1]

$$A_v = \frac{X}{100} \cdot Q_{d,\text{max}} \quad (2.2)$$

$$X = |Z| + |-N| \quad (2.3)$$

kde

X	akumulační procento	[%]
$Q_{d,max}$	maximální denní spotřeba	[m <sup>3</sup> /den]
Z	maximální denní přebytek	[%]
N	maximální denní nedostatek	[%]

Akumulační procento se místo početní metody může stanovit grafickou metodou. V takovém případě se vynese do grafu součtová čára přítoků a součtová čára odběrů. Akumulační procento je největší svislou odlehlostí mezi oběma čarami. [4]

Tabulka 2.1 Výpočet akumulačního procenta při gravitačním přítoku 24 hodin [12]

Q <sub>dmax</sub> = 63 m <sup>3</sup> .den <sup>-1</sup> = 2,63 m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>				přítok - odběr							
hodina		Přítok		Odběr		Přebytky		balance objemů		součtové čáry	
od	do	[%]	m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>	[%]	m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>	[%]	[ m3]	[%]	[ m3]	přítok	odběr
0 -1		4,17	2,63	1,00	0,63	3,17	2,00	3,17	2,0	0,00	0,0
1 -2		4,17	2,63	0,70	0,44	3,47	2,18	6,63	4,2	4,17	1,0
2 -3		4,17	2,63	0,70	0,44	3,47	2,18	10,10	6,4	8,33	1,7
3 -4		4,17	2,63	0,70	0,44	3,47	2,18	13,57	8,5	12,50	2,4
4 -5		4,17	2,63	2,00	1,26	2,17	1,37	15,73	9,9	16,67	3,1
5 -6		4,17	2,63	3,00	1,89	1,17	0,74	16,90	10,6	20,83	5,1
6 -7		4,17	2,63	5,00	3,15	-0,83	-0,53	16,07	10,1	25,00	8,1
7 -8		4,17	2,63	6,40	4,03	-2,23	-1,41	13,83	8,7	29,17	13,1
8 -9		4,17	2,63	4,50	2,84	-0,33	-0,21	13,50	8,5	33,33	19,5
9 -10		4,17	2,63	5,50	3,47	-1,33	-0,84	12,17	7,7	37,50	24,0
10 -11		4,17	2,63	5,50	3,47	-1,33	-0,84	10,83	6,8	41,67	29,5
11 -12		4,17	2,63	5,50	3,47	-1,33	-0,84	9,50	6,0	45,83	35,0
12 -13		4,17	2,63	5,00	3,15	-0,83	-0,53	8,67	5,5	50,00	40,5
13 -14		4,17	2,63	5,00	3,15	-0,83	-0,53	7,83	4,9	54,17	45,5
14 -15		4,17	2,63	4,00	2,52	0,17	0,11	8,00	5,0	58,33	50,5
15 -16		4,17	2,63	5,00	3,15	-0,83	-0,53	7,17	4,5	62,50	54,5
16 -17		4,17	2,63	5,00	3,15	-0,83	-0,53	6,33	4,0	66,67	59,5
17 -18		4,17	2,63	6,00	3,78	-1,83	-1,16	4,50	2,8	70,83	64,5
18 -19		4,17	2,63	6,50	4,10	-2,33	-1,47	2,17	1,4	75,00	70,5
19 -20		4,17	2,63	7,50	4,73	-3,33	-2,10	-1,17	-0,7	79,17	77,0
20 -21		4,17	2,63	5,00	3,15	-0,83	-0,53	-2,00	-1,3	83,33	84,5
21 -22		4,17	2,63	5,00	3,15	-0,83	-0,53	-2,83	-1,8	87,50	89,5
22 -23		4,17	2,63	4,00	2,52	0,17	0,11	-2,67	-1,7	91,67	94,5
23 -24		4,17	2,63	1,50	0,95	2,67	1,68	0,00	0,0	95,83	98,5
24		100,00	63,00	100,00	63,00	0,00	0,00			100,00	100,0

Z tabulky 2.1 je  $X = 16,90 + 2,83 = 19,73 \%$  a  $A_v = 0,1973 \times 63 = 12,43 \text{ m}^3$

## 2.1.2 Stanovení požární zásoby $A_{pož}$

Požární zásoba slouží k zajištění vody v případě požáru a vypočítá se: [12]

$$A_{pož} = 3,6 \cdot Q_p \cdot t \cdot n \quad (2.4)$$

kde

$Q_p$	odběr požární vody	[l/s]
t	doba, po kterou je nutné zajistit zásobu požární vody (v rozmezí 0,5 – 2 h)	[h]
n	počet odběrných míst	[-]



### 2.1.3 Stanovení poruchové zásoby $A_{por}$

Objem, který slouží jako rezerva pro případ poruchy na přítoku a vypočítá se: [12]

$$A_{por} = \frac{Q_{d,max}}{24 \cdot T} \quad (2.5)$$

kde

$Q_{d,max}$  maximální denní spotřeba [m<sup>3</sup>/den]

$T$  doba trvání poruchy (v rozmezí 6 – 12 h) [h]

## 2.2 Výpočet využitelného objemu přerušovacího (pásmového) vodojemu

Využitelný objem přerušovacího vodojemu závisí na regulaci přítoku a odběru z vodojemu. Musí zaručit bezporuchový provoz a nepřekročit maximální hladinu, aby se voda neztrácela přelivem. [1]

## 2.3 Výpočet využitelného objemu vyrovnávacího vodojemu

Vyrovnávací vodojem přebírá v době normální a větší spotřeby funkci zásobního vodojemu. Jeho objem se stanovuje jako procentuální část zásobního vodojemu odpovídající zásobované části spotřebiště. [5]

## 3 KONSTRUKCE, TVAROVÉ PROVEDENÍ A VYBAVENÍ VODOJEMU

Před započítím stavby vodojemu je nutné provést geologický průzkum a zjistit stav a složení zemského podloží. Dané místo musí být dobře přístupné automobilové a nákladní dopravě, kterých se využívá při stavbě nebo údržbě vodojemu. V případě, že se jedná o vodojem na pitnou vodu, musí se zajistit čisté místo pro zachování kvality vody. Nevhodná místa jsou blízko průmyslových areálů, frekventovaných silnicích a železničních tratí apod.

### 3.1 Podzemní vodojemy

Podzemní vodojemy mají nádrž úplně nebo částečně zapuštěnou v zemi. Akumulační nádrž se obsypává zeminou, která plní funkci tepelné izolace a mechanické ochrany. Navrhují se v členitém území. Výhodou podzemních vodojemů oproti nadzemním je nižší cena, ochrana před změnami teplot a snazší přístavba dalších nádrží. Skládají se ze dvou částí. První je akumulační nádrž na zásobu vody. Druhou je manipulační komora, která obsahuje trubní rozvody a potřebné armatury. Přes manipulační komoru je přístup do vodních nádrží. [1, 7]

Podzemní vodojemy lze rozdělit podle počtu nádrží na jednokomorové nebo vícekomorové. Přednostně se používají vícekomorové, protože při údržbě nebo opravě jedné komory mohou být zbylé v provozu. [8]

#### 3.1.1 Podzemní vodojemy z kamenů a cihel

Půdorys těchto vodojemů má tvar rovnoběžníku. Vyzděny jsou z lomového kamene nebo ve tvaru kvádrových bloků. Strop tvoří půlkruhová nebo parabolická cihelná klenba. Pro splnění konstrukčních požadavků a zajištění vodotěsnosti jsou tyto stavby robustní. Vnitřní stěny jsou zaspárovány cementovou maltou. Tyto vodojemy ještě neměly manipulační komoru, do nádrží se vstupovalo z venku. [5]

Později byly nahrazeny vodojemy s půdorysem protáhlého obdélníka, které se celé vyzdívaly z cihel. Strop tvoří půlkruhová segmentová nebo křížová klenba. Pro vyplnění spár vnitřních stěn a omítání vnějších stěn slouží cementová malta. Jako izolace je použitý asfaltový nátěr. Dnes už se tyto vodojemy nestaví, protože se používají materiály s lepšími vlastnostmi. [5]

#### 3.1.2 Podzemní vodojemy z prostého betonu

Vodojemy z prostého betonu jsou mezistupněm mezi vodojemy z kamení a cihel a vodojemy železobetonovými. Prostý beton umožnil výhodnější tvarování vodních nádrží. Strop tvoří segmentová nebo parabolická klenba. Vodotěsnost zajišťuje pálená cementová omítka. Manipulační komora už je dělená na vstupní komorou a armaturní komoru. Stavby z prostého

betonu jsou masivní a nákladné, proto se dnes místo něj používá železobeton. Nejdříve se ze železobetonu dělaly pouze stropy, postupem času celé vodojemy. [5]

### 3.1.3 Podzemní vodojemy s válcovými nádržemi

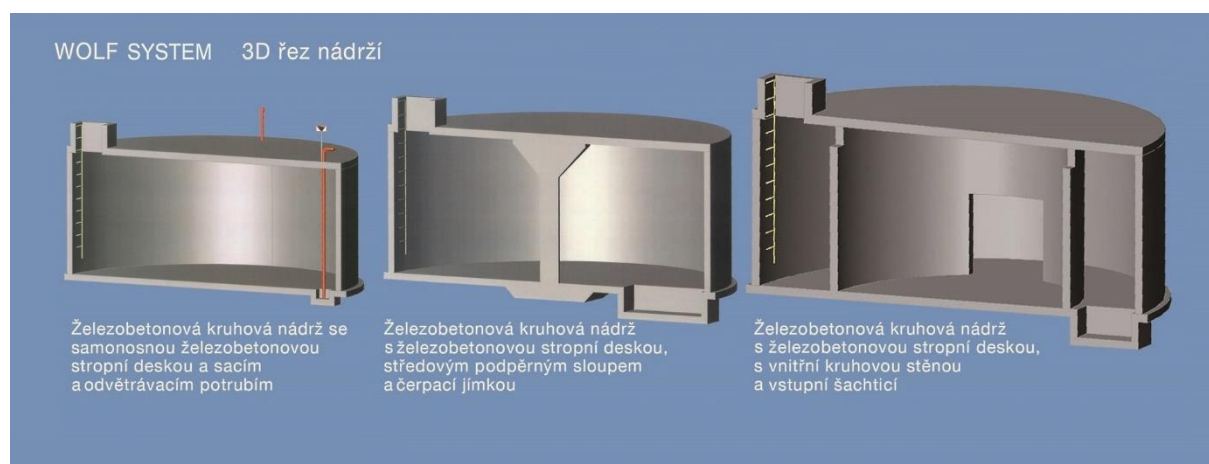
Z ekonomického a technologického hlediska jsou vodojemy s válcovými nádržemi vhodné pro malé a středně velké objemy od  $50 \text{ m}^3$  do  $1000 \text{ m}^3$ . Výhodou je, že na obvodové stěny působí především tahové a tlakové namáhání. Další výhodou je šetření na materiálu, protože plocha stěn při stejném objemu je u válcových vodojemů menší než pro jiné tvary. Mají také menší počet tzv. mrtvých koutů, kde by voda necirkulovala a kazila se. Nevýhodou je složité bednění a náchylnost na jednostranné tlaky. Důsledkem těchto tlaků může být vznik trhlin a poruch. Z tohoto důvodu nelze vodojemy s válcovými nádržemi usazovat do sesuvných svahů a nerovnoměrně únosných zemin. Důsledkem může být vznik trhlin a poruch a není tedy vhodné je zde použít. [3, 6]

#### ▪ Monolitické železobetonové válcové nádrže

Dno je monolitická železobetonová deska s křížovou výztuží. K této desce je napevno připevněna patka pro obvodovou stěnu a patky pro podpěrné sloupce. Pro menší nádrže se používá jednoduchá výztuž při horním okraji, u větších je deska vyztužená dvojí. [1, 4, 5, 20]

Obvodové stěny se vyrábějí buď s konstantní tloušťkou z vnitřní i vnější strany nebo se z vnější strany tloušťka zvětšuje s rostoucím hydrostatickým tlakem. Na stěny působí uvnitř vodní tlak tahem a z vnějšku zemina tlakem. V místech patek u přechodu ke stropu působí i ohybový moment. Stěny menší nádrží o objemu do  $250$  až  $400 \text{ m}^3$  jsou vyztuženy jednoduchou výztuhou, u větších nádrží je oboustranná výztuž, aby se zatížení rozložilo po celém průřezu. [1, 4, 5, 20]

Stropy jsou buď ve tvaru kopule nebo rovné. Rovný strop je při objemu nádrže do  $100 \text{ m}^3$  usazen jen na obvodových stěnách. Při větších objemech od  $150 \text{ m}^3$  musí být podepřen jedním nebo více sloupky uvnitř nádrže. Kopulovité stropy mají tvar placatého kulového vrchlíku. Na stěnách nádrže jsou usazeny na železobetonových věncích. Používá se jen u středně velkých nádrží o objemu od  $400$  do  $650 \text{ m}^3$ . [1, 4, 5, 20]



3.1 3D řez nádrží [26]

### ▪ Monolitické předepjaté válcové nádrže

Předpětím betonu se ve stěnách nádrže dosáhne takových tlakových namáhání, že se vyloučí tah od vodního tlaku nebo teplotních změn, čímž se zamezí vzniku trhlin. [2]

Deska dna u menších nádrží nebo nepoddajné základové půdy má větší tloušťku a dvojitou nebo předepjatou výztuhu. Zatímco u velkých nádrží či poddajnějšího podkladu je dno vytvořeno jako tenká membrána, která na obvodu plynule navazuje na prstencový základ obvodové stěny, který má větší tloušťku. Předpjeté jsou především stěny, a to jak vodorovně, tak často i svislým směrem. Dále je předpjetý podpěrný prstenec kopule. Dno je předepjaté málokdy. [2]

Obvodové stěny jsou vyráběny buď s konstantní tloušťkou po celé výšce nebo se tloušťka u vyšších nádrží směrem dolů zvětšuje. Díky předpětí mohou být stěny tenčí, ale z hlediska konstrukce musí mít alespoň 12 cm. Malou tloušťku stěn lze navrhnout u volně stojících nádrží, kde působí pouze vnitřní tlak. V případě zasypaných nádrží je nutné udělat silnější stěny, protože tam působí nerovnoměrný tlak zeminy, který může způsobit velké ohybové momenty. [2]

Strop je vyráběn jako kopule tvaru kulového vrchlíku nebo jako rovná deska podepřená sloupy. Výhodou kopulí je tenká stěna, čímž se ušetří na materiálu. Tenká stěna může být jen v případě, že je kopule nezasypaná nebo se použije jemný násyp. Nevýhodou je složité bednění, které se vyplatí jen při výrobě většího počtu nádrží, kdy se použije vícekrát. [2]

### ▪ Prefabrikované montované železobetonové válcové nádrže

Předpjetí je stejné jako u klasických monolitických nádrží. Oproti klasickým monolitickým nádržím je zajištěna jednodušší stavební technologie a lepší kvalita betonu. Jako prefabrikáty se většinou vyrábějí jen stěny a strop, dno bývá většinou monolitické. Stěnové prefabrikáty mají výšku stěny nádrže, což je asi 5 až 6 m, šířku od 0,75 do 1,5 m. Tloušťka stěny odpovídá statickým požadavkům a musí být zajištěna vodotěsnost. U menší nádrží musí být alespoň 10 cm, u větších a hlubších 25 cm. Aby prefabrikáty vydržely přepravu a usazování, jsou vyztuženy. Strop je sestavený z jednotlivých dílců a má tvar kopule. Je usazený na předepjatém monolitickém věnci. U větších nádrží je strop rovný a je podepřený sloupy. [1, 5, 21]

### ▪ Válcové nádrže zděné z betonových tvárnic

Staví se jen pro menší objemy do 300 až 400 m<sup>3</sup> a vyhovujících základových poměrech. Na kruhové dno ze železobetonu se vyzdívá kruhová stěna z tvárnic. Výhodou je, že není potřeba bednění a to, že má beton dobrou kvalitu. U menších nádrží do 150 m<sup>3</sup> je strop rovná železobetonová deska usazená na obvodových stěnách. Pro větší nádrže se používá hříbový strop nebo je složen ze segmentů. [2]

## 3.1.4 Podzemní nádrže s kvádrovými nádržemi

Vodojemy malých a středně velkých nádrží jsou z technického a ekonomického hlediska horší než vodojemy s válcovými nádržemi. Jejich stěny mají velké tloušťky, protože musí odolávat vertikálním i horizontálním momentům. Při objemu nad 1000 m<sup>3</sup> je naopak výhodnější stavět vodojemy s kvádrovými nádržemi. Jejich výhodami je lepší využití pozemku, jednodušší statický výpočet, protože podpírací sloupy je možné pravidelně rozmístit, jednodušší stavební

konstrukce, jednodušší a levnější bednění, jednodušší manipulační komora, kterou je možné přistavět těsně k nádrži, lepší odolnost proti nerovnoměrně působícímu zemnímu tlaku, protože obvodové stěny nádrže mají větší tloušťku. Můžeme ji zasadit kratší stranou proti svahu (při sesuvných svazích). To se dělá kvůli menšímu obsahu stěny ku talku zeminy. [3]

#### ▪ Monolitické železobetonové kvádrové nádrže

Mají masivní konstrukce, které lze uplatnit i na nerovnoměrně únosných základových půdách. Na výrobu dna se používá vyztužený beton. Uplatňují se u středně velkých a velkých objemů. Výztuže chrání dno před vznikem trhlin, smršťováním betonu a zajišťují vodotěsnost. Menší nádrže mají dno vyztužené dvojité, protože je pevně spojeno se stěnami. Tloušťka dna je okolo 30 cm. U větších nádrží není dno se stěnami pevně spojeno, proto stačí jednoduchá výztuž a tloušťka 15 až 20 cm. Při velmi velkých nádržích se dno dělá tloušťky jen 5 až 15 cm a vyztužuje se drátěnou sítí. [5, 6, 15]

#### ▪ Monolitické předepjaté kvádrové nádrže

Mají podobné výhody jako válcové. Předpětím se zlepší vodotěsnost, uspoří se na materiálu a zamezí se vzniku trhlin, protože se zamezí tahovému napětí. Z předepjatého betonu se dělají buď jen stěny nebo méně často i dno a strop. [2, 6]

#### ▪ Prefabrikované montované železobetonové nádrže

Prefabrikáty se používají nejčastěji na strop, méně často na stěny a jen zřídka na dno. Tento způsob je vhodný hlavně pro velké nádrže vodojemů. Dno je stejně jako u válcových nádrží nejčastěji monolitické. Obvodové stěny jsou ze segmentů vyráběných ze železobetonu nebo předepjatého betonu. Strop bývá rovný nebo mírně skloněný k okrajům. Je uložen na obvodových stěnách a uvnitř je nesen sloupy. Sloupy osazené do patek podepírají stropní nosníky. [2, 5, 17]



3.2 Vodojem z prefabrikátů s kvádrovou nádrží [17]

### 3.1.5 Podzemní vodojemy s nádržemi čokovitého tvaru

Nejvýhodnějším tvarem nádrže je z hlediska statiky tvar kapky, protože v krycí vrstvě působí napětí ve směru meridiánovém a tečném, které jsou stejné. Nevýhodou je složité bednění a uspořádání lešení. Ekonomicky výhodnější z hlediska stavební technologie jsou tvary podobné kapkovitému jako je čokovitý tvar. I tak je ale bednění a uspořádání lešení složité, a proto se tento tvar tolik nepoužívá. [2]

### 3.1.6 Podzemní montované trubní vodojemy

Nádrže těchto vodojemů se sestavují z několika železobetonových trub velkých rozměrů. Trouby jsou uloženy buď na betonových pražcích a sedlech nebo na šterkopískové směsi. Oba konce sestavy jsou uzavřeny železobetonovými čely. Přidružená manipulační komora se skládá ze studňových skruží. V současnosti se na stavbu trubních vodojemů i manipulačních komor používají sklolaminátové trouby. [1, 3, 16]

*3.3 Trubní dvoukomorový vodojem ze sklolaminátových trub [1]*



### 3.1.7 Manipulační komory podzemních vodojemů

Manipulační komora slouží na propojení potrubí přivádějících a odvádějících vodu z nádrže. Manipulační komory mohou být přiřazené nebo oddělené. Z přiřazených komor je vstup přímo do nádrží, protože spolu tvoří jeden celek. U oddělených komor je přístup do nádrží venkem. To není příliš hygienické, proto se více navrhuje přiřazené manipulační komory. [5]

U malých a středních vodojemů bývá jedna manipulační komora. U větších vodojemů mohou být i dvě, kdy jedna je umístěna na straně, kde se voda přivádí a druhá na opačném konci, kde se voda odebírá. [2]

Skládá se ze dvou částí, které jsou odděleny stropem. Horní je vstupní komora vyzdívaná z cihelných bloků. Dolní je armaturní komora, která je ze železobetonu. V armaturní komoře jsou propojovací potrubí a další armatury jako šoupátka, zpětné klapky, poruchové ventily apod, dále vodoměry a jiné přístroje. Přes vstupní komoru se vstupuje do armaturní komory a do vodních nádrží. Ve vstupní komoře je ovládání šoupat (buď ruční nebo pomocí servomotorů), ukazatel vodního stavu v nádrži, stupnice vodoměrů, telefon a jiné přístroje. U větších vodojemů bývají u stropu vstupní komory úchyty pro kladkostroj, který se používá při stavbě a údržbě potrubí a armatur. [2, 3, 15]

#### ▪ Uspořádání potrubí v armaturní komoře

Potrubí procházející armaturní komorou může být přívodní, odběrné, přelivové, výpustné a odpadové. Jejich vzájemné uspořádání závisí na počtu a tvaru nádrží, na umístění vodojemu vzhledem ke spotřebišti (jestli je čelní, koncový apod.). Jednotlivé dílce potrubí jsou litinové nebo ocelové a jejich vzájemné propojení nebo propojení s tvarovkami je přírubové s gumovým těsněním. [15]

## 3.2 Nadzemní vodojemy s nezasypanou nádrží

Jsou to vodojemy bez zemního násypu, které mají dno v úrovni terénu. Podobně jako zemní vodojemy mají přidruženou manipulační komoru se vstupní částí nad povrchem a armaturní částí pod terénem. Používají se výjimečně v případě, kdy nejsou zajištěny dostatečné výškové poměry pro stavbu zemního vodojemu a nebyl by tak zajištěn potřebný tlakový poměr ve spotřebišti. Dále se používají v případě špatného geologického podloží (např. skalnatý podklad), kdy by byla stavba zemního vodojemu příliš nákladná. Uplatňují se v zemědělských a průmyslových areálech. [1]

Konstrukce je obdobná jako u zemních vodojemů. Mohou být válcové nebo kvádrové, monolitické nebo předepjaté. Výhodou je jednoduché zakládání, montáž a kontrola vodotěsnosti. Nevýhodou je nutnost dokonalé tepelné izolace a oproti zemním vodojemům vyšší náklady. [3]

### 3.2.1 Nadzemní vodojemy ze smaltovaných plechů

Nové vodojemy se staví také z ocelových smaltovaných plechů. Dno nádrže je železobetonové vyrobené buď z vodostavebního betonu nebo opatřené nepropustnou fólií. Plášť se šroubuje ze smaltovaných plechů z vnější strany opatřen tepelnou izolací krytou hliníkovými plechy. Spáry mezi smaltovanými plechy jsou vyplněny silikonovým tmelem. Střecha je z vlnitého plechu. Staví se v objemech od 6 m<sup>3</sup> do 4 500 m<sup>3</sup>. [4, 18]



3.4 Vodohojem ze smaltovaných plechů [18]

## 3.3 Věžové vodojemy

Věžové vodojemy mají nádrže nad úrovní terénu. Jsou tvořeny akumulací nádrží, nosnou konstrukcí a základem, který přenáší tíhu vodojemu na základovou půdu. Výstavba těchto vodojemů je dražší než u zemních vodojemů. Cenu navyšuje především nosná konstrukce a tepelná izolace. Proto se navrhují s co nejmenšími objemy a jen v rovinných oblastech, kde výškové poměry nedovolují výstavbu zemních vodojemů. Nádrže neobsahují požární rezervu, ta je zajištěna jiným způsobem např. zemní akumulací nádrží. Vodojem se umísťuje do těžiště

spotřebiště, aby tlakové ztráty v potrubí byly co nejnižší. Zároveň se umísťuje co nejvýše, aby se zmenšily náklady na nosnou konstrukci. [7]

Nádrže mohou mít tvar číše, jejichž průměr se směrem dolů se zvyšujícím tlakem zmenšuje, takže prstencové napětí zůstává přibližně konstantní. Z čísovitých tvarů se používají hlavně hyperboloidické nebo kuželové. Další tvary jsou podobné tvaru tobolky máku nebo kapkovitému tvaru houbových hlav. [3]

Nosná konstrukce vysokých vodojemů je válcová vyztužená prstenci. U nízkých vodojemů s velkou nádrží ji tvoří zužující se válcová konstrukce vyztužená žebry, které přecházejí do základu. Široké nádrže jsou podepírané nejen ve středu, ale také sloupy po obvodu. Základy se navrhují ve tvaru obrácené číše. [14]

### 3.3.1 Věžové vodojemy s ocelovými nádržemi

Ze statického hlediska lze z oceli vytvořit výhodné tvary. Vodojemy z oceli jsou velmi dobře vodotěsné, jsou levnější než železobetonové. Další výhodou je odolnost proti mrazu. Bez poškození vydrží i silnější vrstvy ledu na vnitřní straně. Proto na rozdíl od železobetonových nádrží nepotřebují větší ocelové nádrže tepelnou izolaci. Jejich stavba je časově nenáročná, protože se dají smontovat z připravených dílců. Nevýhodou je časově náročná obnova protikorozních nátěrů, kdy je vodojem uveden mimo provoz. Další nevýhodou je kolísání teploty vody se změnou teploty okolí. [14]

Ocelové nádrže jsou vybaveny přívodním, odběrným, přelivovým a výpustným potrubím. Pro případ vyřazení nádrže z provozu je přívodní a odběrné potrubí propojeno obtokovým potrubím s uzávěrem, aby se nepřerušila dodávka vody. Ocelové nádrže se při kolísání hladiny deformují. Proto musí mít potrubí v místě připojení k nádrži kompenzátory. Pro menší věžové vodojemy lze přivést jen dvě potrubí. Jedno se vyvede těsně u dna a má funkci přívodního a odběrného a druhé na maximální hladinu a má funkci přelivového potrubí. [2]

#### ▪ Věžové vodojemy s válcovou ocelovou nádrží

V minulosti se válcové nádrže usazovaly na věnec zděné konstrukce. Plněním a vyprazdňováním nádrže docházelo k porušování nosné konstrukce. Dnes se již moc nepoužívají. [2]

#### ▪ Věžové vodojemy s kuželovou ocelovou nádrží na železobetonové nosné konstrukci

Nosná konstrukce je vyrobena ze železobetonu pomocí posuvného bednění. Kuželová ocelová nádrž je sestavena na zemi kolem nosné konstrukce. Následně se vyzvedne do potřebné výšky a upevní se ocelovými konzolami. Tyto konzoly se přivaří ke kotevním deskám zabetonovaným v nosné konstrukci. Jako protikorozní ochrana se používá pokovování. [3]

#### ▪ Věžové vodojemy s kulovou ocelovou nádrží na ocelové nosné konstrukci

U nádrží do objemu 500 m<sup>3</sup>, tzv. Aknaglobů, je nosná ocelová konstrukce tvaru válce nebo se směrem vzhůru zužuje. Ve spodní části se nosná konstrukce rozšiřuje, aby se usnadnilo její ukotvení do mohutné základové patky. [1]



U menších vodojemů do objemu asi  $200 \text{ m}^3$ , tzv. Hydroglobů, není nosný sloup vetknutý do základu, nosná konstrukce je ukotvena kotvícími lany, aby odolala silám v horizontálním směru. [4]



3.5 Věžový vodojem Aknaglobus [1]



3.6 Věžový vodojem Hydroglobus [1]

- Věžové vodojemy s ocelovou nádrží tvaru elipsoidu na ocelové nosné konstrukci

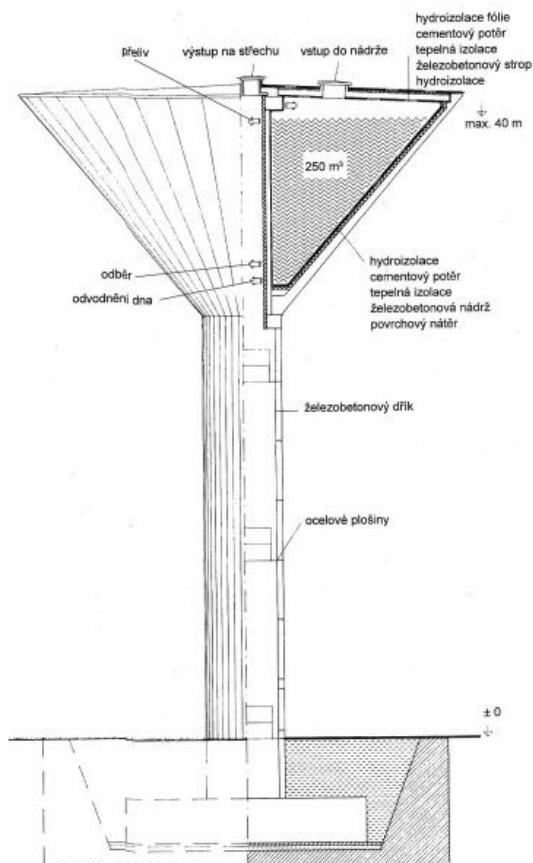
Sférické nádrže jsou usazeny na ocelovém dříku podobném jako u kulových nádrží. Od kulových nádrží se liší tím, že mají zploštěný tvar. Ze statického hlediska jsou výhodnější než kulové nádrže. Využívají se především pro větší objemy až do  $3000 \text{ m}^3$ . [2]

- Věžové vodojemy s ocelovou nádrží s elipsoidickým dnem na ocelové nosné konstrukci

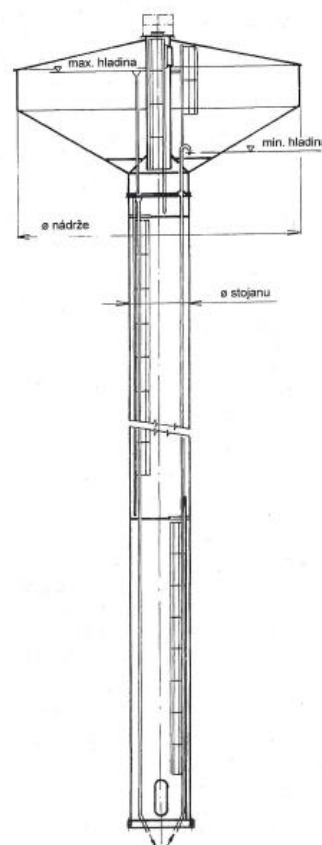
Jsou to vodojemy s válcovými nádržemi, které mají dno a strop tvaru elipsoidních odseků. Jejich nosná konstrukce se skládá z ocelového sloupu uprostřed, který je doplněn užšími sloupy po obvodu. Obvodové sloupy jsou přivařené buď přímo ke spodku nádrže nebo k obruči, která nese nádrž. Jsou vhodné buď pro menší objemy do  $500 \text{ m}^3$  nebo větší objemy od  $1000$  do  $10\,000 \text{ m}^3$ . [2, 22]

- Věžový vodojem s ocelovou nádrží tvaru ploché číše

Jedná se o vodojem současného typu. Základ tvoří železobetonová patka, do které je vetknutý dřík. Nosná konstrukce i nádrž se montují z jednotlivých dílů. Nádrže mohou mít objem v rozmezí od  $20 \text{ m}^3$  do  $2\,000 \text{ m}^3$  [1]



3.8 Věžový železobetonový vodojem se zdvihanou nádrží [1]



3.7 Věžový vodojem s ocelovou nádrží ploché číše [1]

### 3.3.2 Věžové vodojemy se železobetonovými nádržemi

Věžové vodojemy mají výhodu oproti ocelovým v tom, že se nemusí řešit protikorozní ochrana. Navíc silné stěny lépe izolují vodu před teplotními výkyvy. Musí mít ale z vnější strany tepelně izolační plášť, který chrání proti promrznutí. V případě promrznutí by mohl mráz narušit konstrukci nádrže. [5]

Starší vodojemy mají nádrže tvaru válce. Tento tvar je výhodný ze statického hlediska a menší spotřebě materiálu. Nevýhodou je složité bednění. Dno může být rovné, tvaru kulového vrchlíku nebo tvaru kuželových ploch. [3]

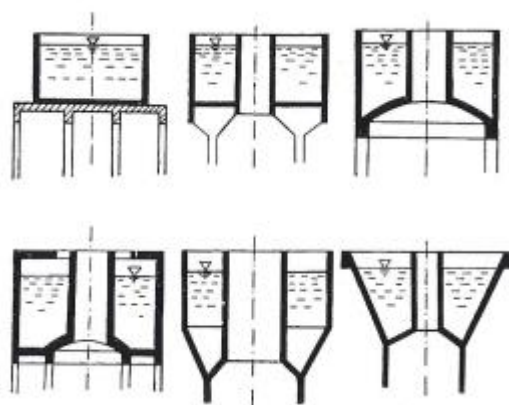
Rovná dna jsou podepřena po celé ploše nebo jsou upnuta dvěma prstenci. Jeden je pod vnější stěnou a jeden pod vnitřní. U větších nádrží může být uprostřed ještě třetí, který rozdělí plochu dna na dvě části. Tím se sníží momenty, které by jinak mohly zapříčinit poruchu vodotěsnosti. [2]

Dna tvaru kulového vrchlíku se používají kvůli vyloučení momentů. Nevýhodou je, že u širších nádrží působí na úložný věnec velké tahové namáhání. Místo běžných tyčových výztuží se někdy musí použít válcové profily nebo nýtované či svážené pásové profily. Další nevýhodou je složité bednění. Pro redukci tahového namáhání se začaly používat kombinované tvary den. První způsob kombinuje vnitřní část dna tvaru kulového vrchlíku a vnější ve tvaru

kužele. Druhý je kombinací vnitřní části kulového vrchlíku a vnější rovné části. Rovná část dna je usazena na dvou železobetonových prstencích. Nevýhodou dna tvaru kulového vrchlíku je složité bednění. Proto jsou nahrazovány dny z kuželových ploch. [2]

Kuželové dno přechází ve vnitřní části do válcové šachty a z vnější části kuželového dna přechází do tvaru válce. U novějších vodojemů je celá vnější stěna kuželová. [2]

Nosná konstrukce podepírající železobetonový věnec může být válcová nebo železobetonová skeletová. Válcová konstrukce podepírá nádrž po celém obvodu a někdy je vyztužena svislými žebry. Skeletová konstrukce je tvořena čtyřmi až dvanácti sloupy. Pro velké objemy nádrží se kombinuje skeletová konstrukce, která tvoří vnější část, s vnitřní válcovou částí. Tyto vodojemy mohou být 3-6-8 úhelníkové. U menších vodojemů jsou výhodné kvůli jednoduššímu bednění. [2]



3.9 Příklady tvarů nádrží železobetonových vodojemů [1]

### 3.3.3 Věžové vodojemy s monolitickými předepjatými nádržemi

Nádrže mohou mít různé tvary válce, komolého kužele nebo hyperboloidu. Nejčastěji používaný je tvar komolého kužele, protože zde stačí užší konstrukce. Dno nádrží je kombinací kulového vrchlíku ve vnitřní části a kuželové plochy ve venkovní části. Stropy mívají tvar kopule. Předpínání stěn nádrže se provádí stejným způsobem jako u zemních vodojemů. Od objemu asi 500 m<sup>3</sup> je tato alternativa finančně výhodnější. Nosná konstrukce má tvar válce, komolého kužele nebo rotačního hyperboloidu. [6, 19]

### 3.3.4 Montované železobetonové vodojemy

Výhodou je méně práce s lešením a bedněním. Montážní způsob může být proveden jen u nádrže, dříku nebo obojího. Konstrukce nádrže je předepjatá a způsob provedení se podobá podzemním vodojemům. Rozdíl je hlavně ve tvaru dna, které může být kromě rovného také kuželové nebo tvaru kulového vrchlíku. U větších nádrží se tvar dna může kombinovat z těchto základních tvarů. Základy a podzemní část jsou z monolitického betonu. [6, 19]

### 3.3.5 Věžové železobetonové vodojemy se zdvihanými nádržemi

Jedná se o moderní vodojemy, které odstraňují některé nedostatky předchozích železobetonových vodojemů. Základ tvoří kruhová železobetonová deska. Nosná konstrukce bývá válcová, která je do objemu 300 m<sup>3</sup> sestavena z kruhových skruží. Při objemu 500 m<sup>3</sup> je z monolitického betonu zesílená radiálně situovanými žebry. Staví se pomocí posuvného bednění. Nádrž má tvar komolého kužele a montuje se na zemi v soustředné poloze s nosnou konstrukcí. Hotová nádrž se zvedne po dříku do potřebné výšky. Při montáži nádrže se může využít prefabrikace nebo předpínání. [1, 19]



3.11 Montáž dříku vodojemu [1]



3.10 Bednění vodojemu [1]



3.13 Vyzdvižení nádrže [1]



3.12 Hotový věžový vodojem [1]

### 3.3.6 Komínové vodojemy

Jedná se o speciální typ nadzemních vodojemů, které už se dnes nevyužívají. Nádrže vodojemů jsou vyrobeny z oceli nebo ze železobetonu upnuté na dřík továrního komína. Jsou usazené na kamenném, cihelném nebo železobetonovém prstenci. Ocelové nádrže mají kuželové dno i strop. Nepotřebují tepelnou izolaci. Železobetonové nádrže mají tvar mezikruží, většinou rovné dno a kuželový strop. Menší vodojemy nemají tepelnou izolaci, protože jsou ohřívány od komína, ale větší už většinou ano. Komínové vodojemy měly využití v průmyslových areálech pro výrobní účely nebo jako protipožární zásoba. [9]

## **4 TEPELNÁ IZOLACE, VODOTĚSNOST, VYSTROJENÍ A OSTATNÍ NÁLEŽITOSTI VODOJEMU**

### **4.1 Tepelná izolace**

Tepelná izolace chrání vodu a konstrukci vodojemu před změnami teplot obzvláště před zamrzáním. Největší vliv má mráz na betonové vodojemy. Po vsáknutí do desky, stěn nebo stropu může zamrznout a mít destruktivní účinek na konstrukci. [1]

Tepelná izolace závisí na povětrnostních poměrech. Na tloušťku tepelné izolace má vliv, jestli je voda z povrchového nebo podzemního zdroje. Podzemní voda má během roku minimální teplotu okolo 4 až 6 °C, zatímco povrchová okolo 0,2 až 1 °C. Tepelnou izolaci ovlivňuje také velikost vodojemu. Při velkých objemech je nebezpečí zamrznutí menší. [2]

#### **4.1.1 Tepelná izolace podzemních vodojemů**

Většinou se dělá zemním násypem. V našich podmínkách se výška násypu určuje na 0,7 m. Někdy se jako izolace na strop kvůli odlehčení používala vrstva škváry, na ní vrstva asfaltu, jedna vrstva lepenky a krycí vrstva zeminy. Zatížení stropu se dalo odlehčit vynecháním zeminy. Používaly se škvárobeton, pěnobeton, korkové desky nebo jiné tepelně izolační hmoty. [2]

Moderní vodojemy se také zasypávají zeminou. Dále se mohou izolovat např. extrudovaným polystyrenem, minerální vatou, pěnovým sklem apod. Tato izolace se ještě zakrývá nopovou fólií jako hydroizolace.

#### **4.1.2 Tepelná izolace nadzemních vodojemů**

Izolují se především železobetonové a předepjaté betonové nádrže nebo malé ocelové nádrže. Větší ocelové nádrže dobře odolávají teplotním změnám a často se ani neizolují. Dříve se izolace prováděla obezdívkou z cihel, betonu nebo železobetonu. Někdy byla obezdívka dvojitá. Dno bylo izolováno stropem nosné konstrukce, někdy se i mezi nimi nechávala vzduchová mezera. Strop byl izolován vzduchovou mezerou a střechou, která byla tepelně izolována běžnými způsoby. Později se tepelná izolace dělala bez vzduchových mezer. Používal se obklad z korkových desek. U železobetonových nádrží se tepelná izolace stavěla ještě před stavbou samotného vodojemu a používala se jako bednění. Skládala se z pěnobetonových desek a dutých cihel, které odváděly vodu. [2]

Moderní vodojemy mají tepelně izolační plášť z materiálů jako podzemní vodojemy. Proti zamrznutí se tepelnou izolací chrání i potrubí a mnohdy je nutné i elektrické vytápění.

## 4.2 Vodotěsnost

Vodotěsnost vodojemu je zajištěna buď vlastní konstrukcí (např. vodostavební beton) nebo je zajištěna izolacemi, výstelkami nebo obklady. Po provedení těchto úprav a před uvedením do provozu (u zemních vodojemů před zasypáním) se provede zkouška vodotěsnosti podle ČSN 75 0905. [1]

## 4.3 Vystrojení vodojemů

Vystrojení vodojemů zahrnuje všechny trubní rozvody, příslušné armatury a tvarovky a další zařízení potřebná k provozu (měřicí, signalizační, kontrolní, ovládací). Součástí vystrojení mohou být zařízení pro sekundární dezinfekci vody nebo čerpací stanice.

### 4.3.1 Trubní rozvody

Trubní rozvody jsou uspořádány tak, aby byla zajištěna přehlednost a bezpečnost. Navrhují se podle ČSN 75 5301. Armatury používané každý den nebo s DN 400 a vyšším se opatřují elektropohonem. Potrubí se vyrábí z materiálů odolných proti korozi jako je tvárná litina, nerezová ocel, polyethylen, polypropylen nebo sklolaminát. Vzájemně se propojují přírubovými spoji. Pro kontrolu vody jsou u potrubí vyvedeny označené odbočky opatřené uzávěrem. [1]

Rozlišujeme pět hlavních potrubí: [8, 13, 17]

- **Přívodní potrubí**

Voda může být do vodojemu přiváděna spodním nebo vrchním plněním. Při vrchním plnění je přívodní potrubí vyvedeno nad horní provozní hladinu. Přednostně se navrhuje vrchní plnění. Vývod je účelné umístit na opačné straně, než je vtok do odběrného potrubí, aby voda cirkulovala a nekazila. Konec potrubí je opatřen T-kusem, aby proudící voda nerozvířila usazeniny. U vícekomorových nádrží musí být přívod do nádrží nezávislý na ostatních nádržích. Při gravitačním plnění musí být potrubí opatřeno automaticky uzavíratelným ventilem (např. plovákový ventil), aby se při dosažení horní provozní hladiny uzavřelo. Při plnění čerpáním se musí čerpadla automaticky vypnout při dosažení horní provozní hladiny.

- **Odběrné potrubí**

Každé odběrné potrubí musí být uzavíratelné. Odběrné potrubí se osazuje tak, aby bylo možné odebrat objem vody nad dolní provozní hladinou. Zároveň se do něj nesmí dostat nečistoty usazené pod touto hladinou. Při vícekomorovém vodojemu se musí zajistit odběr z jednotlivých nádrží nezávisle na sobě. U každé nádrže musí být navíc osazena odbočka pro odběr vzorků na kontrolu kvality vody.

- **Výpustné potrubí**

Výpustné potrubí musí být navrženo pro každou nádrž samostatně a musí být opatřeno uzávěrem v manipulační komoře. Vtok do výpustného potrubí se umísťuje v úrovni dna nádrže, aby bylo možné při čištění vypustit celý obsah nádrže. Toto potrubí ústí do šachty mimo

manipulační komoru. Tam musí být opatřeno uzávěrem nebo zpětnou klapkou, aby vzduch ze šachty nemohl kontaminovat vodu v nádrži. Dále musí být zajištěno proti vnikání vodních živočichů. V některých případech se výpustné potrubí napojuje na přelivné.

#### ▪ Přelivné potrubí

Bezpečnostní přeliv musí být navržen pro každou nádrž zvlášť, přelivové potrubí však není opatřeno uzávěrem v manipulační komoře. Slouží k ochraně proti přeplnění v případě poruchy na přítoku a odvádí přebytečnou vodu do šachty mimo manipulační komoru. Jeho vtok má V-tvar. Umisťuje se asi 50 mm pod stropem nádrže. Jeho výška ode dna je navrhována na největší přítok do nádrže navýšena o rezervu 5 až 10 %. Je zaústěno do šachty mimo manipulační komoru. Podobně jako výpustné potrubí je opatřeno vodním uzávěrem nebo zpětnou klapkou, aby vzduch nemohl unikat do nádrže a ochranou proti vnikání vodních živočichů.

#### ▪ Odtokové potrubí

Odtokové potrubí odebírá vodu ze šachty s uzávěrem, do které je napojeno výpustné a přelivné potrubí. Kapacita potrubí se volí z maximálního průtočného množství vytékajícího z vodojemu s rezervou 5 až 10 %. Pro toto potrubí se používá odolný materiál – kamenina, plast, sklolaminát. Potrubí vyúsťuje do vodní nádrže, vodního toku, na terén nebo do příkopu. V jeho ústí je umístěna zpětná klapka proti vnikání živočichů. Někdy se napojuje do dešťové kanalizace. Před přípojkou ale musí být osazen uzávěr s možností doplňování vody.

Speciální typ potrubí je tzv. obtokové potrubí. To se napojí před uzávěry přírodního a odběrného potrubí a vzájemně je propojuje. Uvádí se do provozu v případě odstavení nádrže, aby nebyl přerušen přívod vody do spotřebiště. Musí však na něm být osazen regulační ventil. Původně bylo součástí pouze jednokomorových vodojemů, ale v současné době se instaluje u každé nádrže zvlášť.

## 4.4 Ostatní náležitosti vodojemu

Základy vodojemu se odvodňují drenáží. Drenáž je tvořena děrovaným potrubím (dříve kameninové, v současné době plastové), které je na betonovém podkladu zasypáno šterkem. Dno se u menších vodojemů navrhuje s 1 % spádem k odběrné jímce. V případě větších vodojemů se používají sběrné žlaby s 2 % podélným spádem. Všechny podlahy musí mít nekluzný a neprašný povrch z dlažby z potěrového betonu nebo jsou zhotoveny jako lité. Povrch stěn musí být hladký, bezprašný, odolný proti otěru, neporézní, dostatečně pevný. Zábradlí, všechny žebříky stupadla a ostatní podobné kovové vybavení musí být z nekorozního materiálu. [1]

Nadzemní vodojemy musí být chráněny hromosvodem a u vysokých věžových vodojemů musí být světelná signalizace pro leteckou dopravu.

#### ▪ Osvětlení

Osvětlení v nádrži i manipulační komoře bývá umělé. Důvodem je, že při poškození oken by docházelo ke znečišťování vody. Denní světlo navíc podporuje růst řas. Pokud není možné připojení k elektrické síti, zajišťuje se elektrina agregátem nebo mobilním napájecím zařízením. [3]



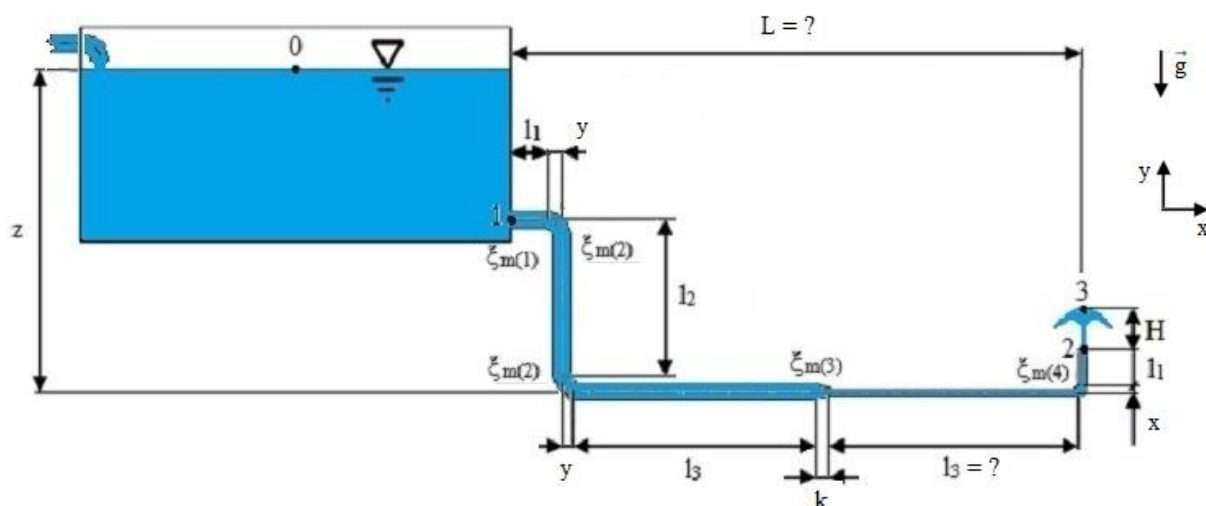
## ▪ Odvětrávání vodojemů

U každé nádrže musí být instalováno větrací zařízení, které umožní přívod a odvod vzduchu v závislosti na měnící se výšce hladiny. Pomocí průduchů se odvětrává i manipulační komora. Odvětrávací potrubí bývá vedeno přes manipulační komoru nebo přes vstupní komoru, pokud není manipulační komora přidružená. V průchodu manipulační nebo vstupní komorou musí být osazené filtrační zařízení s prachovým filtrem. Musí být dobře přístupné, aby mohly být vyměňovány filtrační vložky. Na výstupu z vodojemu se osazuje protidešťová žaluzie a filtrační vložka zachycující větší částice jako pyl, prach, malé organismy. [1]

## 5 PRINCIP VODOJEMŮ

V této kapitole bude na jednoduchém příkladu naznačen princip vodojemů.

Je dána soustava dle obrázku 5.1. Jsou uvažovány délkové ztráty na rovných úsecích o rozměrech  $l_1 = 1$  m,  $l_2 = 2$  m a neznámém rozměru  $l_3$ . Třecí součinitel pro širší potrubí je  $\lambda_1 = 0,035$  a pro užší potrubí  $\lambda_2 = 0,025$ . Dále jsou uvažovány místní ztráty na vstupu do potrubí  $\xi_{m(1)} = 0,5$ ; v obou širších kolenech  $\xi_{m(2)} = 0,4$ ; na konfuzoru  $\xi_{m(3)} = 0,1$  (vztahuje se k výstupní rychlosti) a v užším koleni  $\xi_{m(4)} = 0,2$ . Dále jsou zadány rozměry  $z = 4$  m;  $x = 10$  mm;  $y = 50$  mm;  $k = 80$  mm a  $H = 0,5$  m. Průměry potrubí jsou  $d_1 = 80$  mm a  $d_2 = 10$  mm. Tíhové zrychlení je  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>. Úkolem je vypočítat, do jaké vzdálenosti  $L$  voda ve směru osy  $x$  doteče. Tlak nad hladinou je konstantní a roven tlaku okolí. Coriolisovo číslo se uvažuje ve všech místech rovno 1. Dále je uvažována viskózní nestlačitelná kapalina. Rychlost na hladině je zanedbatelná.



5.1 Ilustrační schéma

Nejprve se z Bernoulliho rovnice mezi body 2-3 vypočte rychlost v bodě 2: [10,11]

$$\frac{p_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2} + g \cdot h_2 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{\alpha_3 \cdot v_3^2}{2} + g \cdot h_3 + Y_z \quad (5.1)$$

kde

$$\frac{p_2}{\rho}, \frac{p_3}{\rho} \quad \text{tlaková potenciální měrná energie} \quad [\text{J/kg}]$$

$$\frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2}, \frac{\alpha_3 \cdot v_3^2}{2} \quad \text{kinetická měrná energie} \quad [\text{J/kg}]$$

$$g \cdot h_2, g \cdot h_3 \quad \text{tíhová potenciální měrná energie} \quad [\text{J/kg}]$$

$Y_z$	ztrátová měrná energie	[J/kg]
$p_2, p_3$	tlaky na ose potrubí	[Pa]
$v_2, v_3$	střední průřezové rychlosti na ose potrubí	[m/s]
$\alpha_2, \alpha_3$	Coriolisovo číslo	[-]
$h_2, h_3$	výšky na ose potrubí	[m]

Na úseku 2-3 nejsou ztráty, tlak okolí je ze zadání konstantní, Coriolisovo číslo je rovno 1, rychlost v místě 3 je nulová. Vyjádříme  $v_2$ :

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_3 - h_2)} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (5.2)$$

V následujícím kroku se z rovnice kontinuity vyjádří rychlost  $v_1$ : [10,11]

$$Q = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = konst. \quad (5.3)$$

Odtud platí:

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{S_2}{S_1} = v_2 \cdot \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (5.4)$$

kde

$Q$	průtok	[m <sup>3</sup> /s]
$S_1, S_2$	průřezy potrubí	[m <sup>2</sup> ]
$v_1, v_2$	střední průřezové rychlosti	[m/s]
$d_1, d_2$	průměry potrubí	[m]

V následujícím kroku se použije Bernoulliho rovnice mezi body 0-2 a vypočítáme  $l_3$ :

$$\frac{p_0}{\rho} + \frac{\alpha_0 \cdot v_0^2}{2} + g \cdot h_0 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2} + g \cdot h_2 + Y_z \quad (5.5)$$

Coriolisovo číslo je ze zadání rovno 1 a tlak okolí konstantní. Rychlost při hladině nádrže je zanedbatelná:

$$\frac{v_2^2}{2} + Y_z = g \cdot (h_0 - h_2) = g \cdot (z - x - l_1 - H) \quad (5.6)$$

Měrnou ztrátovou energii lze vyjádřit pomocí Darcyho-Weisbachova vztahu: [10,11]

$$Y_z = \sum_i \xi_i \cdot \frac{v_i^2}{2} \quad (5.7)$$

kde

$\xi_i$	ztrátový součinitel	[-]
$v_i$	referenční rychlost	[m/s]

Nejprve se vyjádří délkové ztráty způsobené viskózním třením u stěn potrubí. Ztrátový součinitel je definován vztahem: [10,11]

$$\xi_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \quad (5.8)$$

kde

$\lambda$	třecí součinitel	[-]
$l$	délka rovného úseku potrubí	[m]
$d$	průměr potrubí	[m]

Pro délkové ztráty po dosazení z rovnice (5.4) platí:

$$Y_{z(l)} = \lambda_1 \cdot \frac{(l_1 + l_2 + l_3)}{d_1} \cdot \frac{v_2^2 \cdot d_2^4}{2 \cdot d_1^4} + \lambda_2 \cdot \frac{(l_1 + l_3)}{d_1} \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad (5.9)$$

Následují místní ztráty, což jsou hydraulické ztráty v tvarových prvcích. Po dosazení z rovnice (5.4) platí:

$$Y_{z(m)} = (\xi_{m(1)} + 2 \cdot \xi_{m(2)}) \cdot \frac{v_2^2 \cdot d_2^4}{2 \cdot d_1^4} + (\xi_{m(3)} + \xi_{m(4)}) \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad (5.10)$$

Po dosazení z rovnic (5.2), (5.9) a (5.10) do (5.6) se vyjádří  $l_3$ :

$$l_3 = \frac{g \cdot (z - x - l_1 - H) - g \cdot H - (\xi_{m(1)} + 2 \cdot \xi_{m(2)}) \cdot \frac{g \cdot H \cdot d_2^4}{d_1^4}}{\lambda_1 \cdot \frac{g \cdot H \cdot d_2^4}{d_1^5} + \lambda_2 \cdot \frac{g \cdot H}{d_1}} +$$

$$+ \frac{-(\xi_{m(3)} + \xi_{m(4)}) \cdot g \cdot H - \lambda_1 \cdot (l_1 + l_2) \cdot \frac{g \cdot H \cdot d_2^4}{d_1^5} - \lambda_2 \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot g \cdot H}{\lambda_1 \cdot \frac{g \cdot H \cdot d_2^4}{d_1^5} + \lambda_2 \cdot \frac{g \cdot H}{d_1}} \quad (5.11)$$

Po dosazení:

$$l_3 = \frac{9,81 \cdot (4 - 0,01 - 1 - 0,5) - 9,81 \cdot 0,5 - (0,5 + 2 \cdot 0,4) \cdot \frac{9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,01^4}{0,08^4}}{0,035 \cdot \frac{9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,01^4}{0,08^5} + 0,025 \cdot \frac{9,81 \cdot 0,5}{0,08}} -$$

$$+ \frac{-(0,1 + 0,2) \cdot 9,81 \cdot 0,5 - 0,035 \cdot (1 + 2) \cdot \frac{9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,01^4}{0,08^5} - 0,025 \cdot \frac{1}{0,08} \cdot 9,81 \cdot 0,5}{0,035 \cdot \frac{9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,01^4}{0,08^5} + 0,025 \cdot \frac{9,81 \cdot 0,5}{0,08}}$$

$$= 49,157 \text{ m} \quad (5.12)$$

$$L = l_1 + 2 \cdot y + 2 \cdot l_3 + k + x \quad (5.13)$$

$$L = 1 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 49,157 + 0,08 + 0,01 = 99,504 \text{ m} \quad (5.14)$$

Ve směru osy x voda doteče do vzdálenosti 99,504 m.

## 6 MULTIFUNKČNÍ VODOJEMY

Jsou to vodojemy, které plní kromě akumulace vody další funkce. Vhodným umístěním solárních panelů nebo malých větrných elektráren mohou sloužit jako zdroj elektrické energie. Dále se využívají v turistice jako rozhledny, galerie nebo jako součást restaurace.

### 6.1 Příklady multifunkčních vodojemů

- **Vodojem u Boskovic**

Tento vodojem se stavěl z důvodu posílení tlaku ve stávající vodovodní síti. Zároveň funguje jako vyhlídková věž. [26]

- **Vodojem u Trutnova**

Vodojem u Ohrazenic na Trutnovsku by měl být dokončen v červnu 2019. Kromě akumulace vody bude sloužit jako rozhledna a galerie. [24]

- **Vodojem v Arapaho Rd. a Surveyor Blvd**

Vodojem slouží kromě akumulace vody také jako větrná elektrárna (má deset větrných turbín) a v prvním podlaží je vzdělávací centrum. Generuje tolik energie, že kromě vlastního provozu navíc zásobuje pouliční osvětlení. [23]

- **Vodojem v Makanda, Illinois**

Jedná se o vodojem s kulovou nádrží na trojnohé konstrukci. Kromě funkce vodojemu funguje také jako vyhlídka pro turisty. [25]



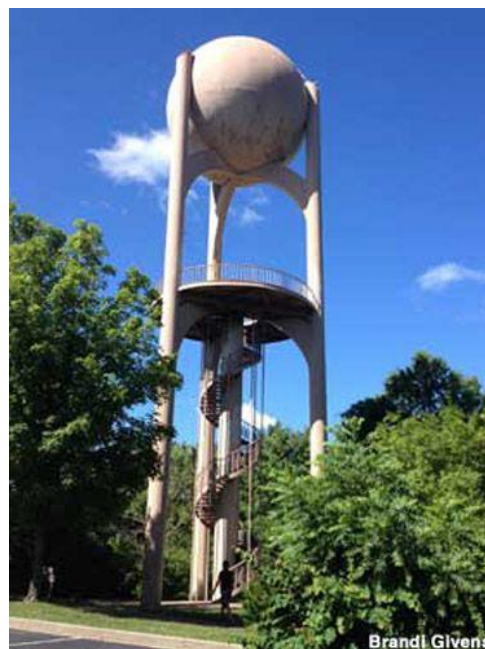
6.2 Vodojem v Boskovicích [23]



6.1 Vodojem u Ohrazenic[25]

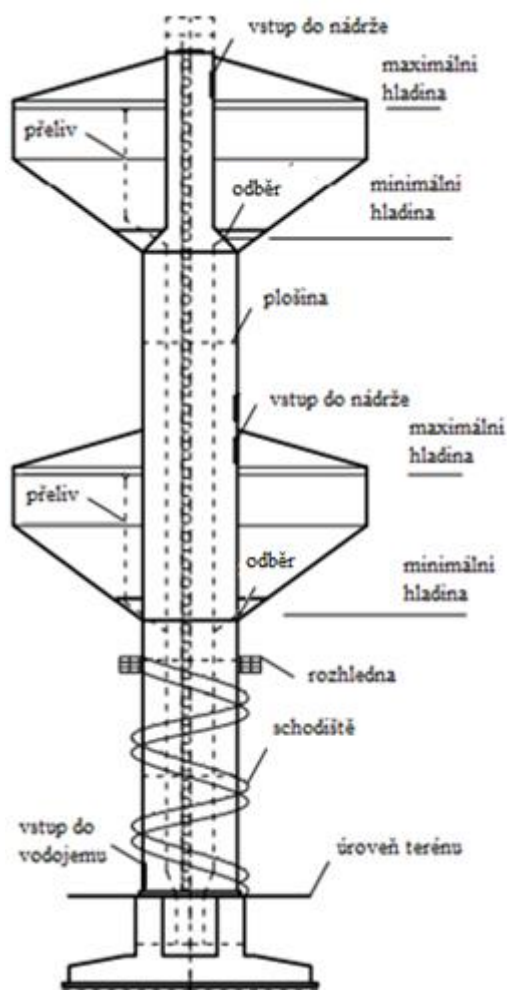


*6.3 Vodojem v Arapaho Rd. a Surveyor Blvd [22]*

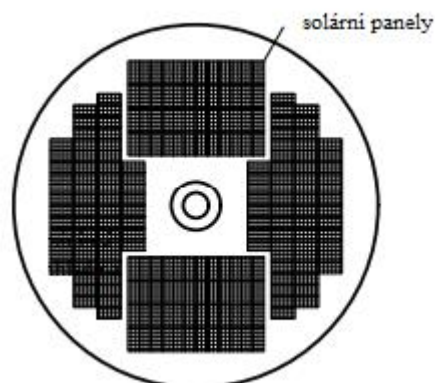


*6.4 Vodojem v Makanda, Illionis[24].*

## 6.2 Vlastní návrh multifunkčního vodojemu



6.6 Návrh věžového vodojemu



6.5 Pohled shora

Návrh obsahuje věžový vodojem se dvěma nádržemi, který kromě akumulace vody funguje jako solární elektrárna. Na obou nádržích jsou rozmístěny solární panely. Vygenerovaná elektrická energie má především zajistit provoz vodojemu. Zbývá se použít k rekuperaci a v případě potřeby se využije. Dále plní funkci rozhledny.

Konstrukce nádrží i dříku je složena z ocelových dílců. Dřík je vetknutý do železobetonového základu.



# ZHODNOCENÍ A DISKUSE

Nejčastěji stavěné jsou zemní vodojemy. Jejich nádrž je chráněna před změnami teplot, protože kromě dalších izolačních materiálů tyto vodojemy izoluje zemina, jsou levnější a lze u nich jednoduše přistavět další nádrže. Staví se především hlavně železobetonové monolitické nebo prefabrikátované s kruhovým nebo čtvercovým půdorysem.

Nadzemní vodojemy s nezasypanou nádrží se staví jen v případě nevyhovujícího podloží nebo v případě nedostatečných výškových poměrů. Tvarově jsou stejné jako podzemní. Jejich stavba je nákladnější a musí se zateplit.

Věžové vodojemy se skládají z železobetonového základu, železobetonové nebo ocelové nosné konstrukce a nádrže. Jejich náklady jsou vysoké zejména kvůli nosné konstrukci a zateplení (větší ocelové nádrže se zateplovat nemusí). V současné době se staví především ocelový vodojem tvaru ploché číše nebo věžové železobetonové vodojemy se zdvihanou nádrží.

V dnešní době se rozvíjí 3D tisk betonových konstrukcí. Lze očekávat, že tato technologie bude mít při stavbě vodojemů velké využití. Umožní staticky a ekonomicky výhodné a různě vlnité tvary nádrží a odpadne starost s bedněním. Navíc se ušetří na materiálu, protože je směs roztírána po vrstvách. Bude jednoduché kombinovat materiály. Po architektonické stránce se tyto stavby začlení podle potřeby buď mezi běžné budovy nebo do přírodní krajiny.

Českou republiku a podstatnou část Evropy v posledních letech ničí sucha. Ta jsou zapříčiněna nedostatkem srážek. K tomu se v některých regionech přidává kůrovcová kalamita, což má za následek kácení lesních porostů. Lze tedy očekávat, že se situace ještě zhorší. Aby se předešlo nízké úrodě, je nutné zavlažovat a zároveň vodou šetřit.

Jedním způsobem, jak ušetřit vodu, může být zachytávání vody z dešťové kanalizace. Ta se může pár dní akumulovat a poté využít na zavlažování. Velké množství dešťových kanalizací ústí do vodního toku a voda se nevyužije.

S rostoucí spotřebou vody lze očekávat vystavění nových vodojemů a pokud to okolnosti umožní, budou se navrhovat pro více funkcí. To jednak proto, aby se využilo obnovitelných zdrojů všude, kde to bude možné a jednak aby se nestavělo zbytečně mnoho staveb pro účely, které lze zajistit jedinou stavbou.

# ZÁVĚR

Prvním cílem bakalářské práce bylo zaměřit se na popis, koncepci a funkci vodojemů zejména pro účely závlah. První kapitola se zabývá funkcemi vodojemů. Následuje rozdělení vodojemů podle účelu na vodojemy zásobní (akumulační), hlavní, přerušovací (pásmový), vyrovnávací, požární, provozní a prací vody. Dále jsou zde rozděleny vodojemy podle účelu na vodojemy před spotřebištěm, ve spotřebišti, za spotřebištěm a před a za spotřebištěm.

Druhá kapitola se zabývá návrhem objemu vodojemu. Objem závisí na funkci, kterou daný zásobník plní. Pokud plní více funkcí, jeho objem se spočítá jako součet objemů pro jednotlivé funkce.

Třetí kapitola obsahuje dělení zásobníků podle konstrukce a materiálu. Základní dělení zásobníků je na podzemní, nadzemní s nezasypanou nádrží a věžové.

Čtvrtá kapitola pojednává o vybavení vodojemů, konkrétně vodotěsnost, tepelná izolace, trubní vystrojení, osvětlení, odvětrávání apod.

V páté kapitole je na jednoduchém příkladu vysvětlen princip vodojemů

Druhým cílem bakalářské práce byl návrh multifunkčního vodojemu. Poslední kapitola obsahuje příklady takových vodojemů a pak vlastní návrh. Cílem bylo zamyslet se nad stavbou vodojemu, aby byl schopen plnit více funkcí ve vztahu k okolnímu prostředí. Práce však neobsahuje konstrukční ani ekonomické výpočty. Může se stát, že navržený vodojem nebude výhodné zrealizovat.

Staré vyřazené vodojemy často nejprve chátrají, ale časem se najdou prostředky na rekonstrukci a nové využití jako např. administrativní budovy, rozhledny, galerie, hotely apod. Tyto vodojemy nejsou zahrnuty do multifunkčních vodojemů, protože nejprve plní pouze funkci vodojemu a až po vyřazení z provozu plní další funkce. Neplní tyto funkce souběžně.

# SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

## ▪ Seznam použité literatury

- [1] CHEJNOVSKÝ, Pavel. *Zdravotní vodohospodářské stavby: akumulace vody - vodojemy*. Praha: Informatorium, 2011, 60 s., [4] s. obr. příl. : il. (některé barev.) ; 21 cm. ISBN 978-80-7333-089-7.
- [2] VIŠŇOVSKÝ, Peter. *Vodárenstvo: potreba vody, privádzače, vodovodné siete a vodojemy*. Bratislava: SVŠT, 1980, 300 s.
- [3] ŠTÍCHA, Václav a Atanas G CUREV. *Vodárenství (Zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství pitnou a užitkovou vodou)*. Praha: SNTL, 1969, 499 s.
- [4] NOVÁK, Josef. *Příručka provozovatele vodovodní sítě*. Líbeznice u Prahy: Vydalo Medim pro SOVAK ČR, 2003, x, 151 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-238-9946-5.
- [5] DOLEJŠÍ, Antonín a Lev ZAVJALOV. *Vodovodné potrubia a vodojemy: učebný text pre 3. a 4. ročník priemyselných škôl stavebných (odbor vodohospodárstvo)*. 2. vyd. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1960.
- [6] ZICH, Miloš a Zdeněk BAŽANT. *Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-693-5. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:c40e9530-f5e7-11e7-8226-005056827e52>
- [7] GRÜNWALD, Alexander. *Vodárenství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998, 189 s. : il. ISBN 80-902460-7-9.
- [8] HASÍK, Otakar. *Stavby vodovodů a kanalizací*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1428-5.
- [9] VONKA, Martin a Robert KOŘÍNEK. *Komínové vodojemy: funkce, konstrukce, architektura*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05774-2.
- [10] ÇENGEL, Yunus A a John M. CIMBALA. *Fluid mechanics: fundamentals and applications*. 2nd ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2010, xxiii, 994 s. : bar. il. ; 27 cm. + 1 CD-ROM. ISBN 978-0-07-352926-4.
- [11] BRDIČKA, Miroslav. *Mechanika kontinua*. I. vydání. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1959, 718 stran : ilustrace.

## ▪ Seznam internetových zdrojů

- [12] PORŠ, Evžen a Rostislav KASAL. *Zásobování obce Příčov pitnou vodou* [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [http://www.pricovy.cz/assets/File.ashx?id\\_org=13583&id\\_dokumenty=1750](http://www.pricovy.cz/assets/File.ashx?id_org=13583&id_dokumenty=1750)
- [13] BOUDA, Roman. *Standardy pro konstrukční řešení akumulací* [online]. Ostrava: Severomoravské vodovody a kanalizace, 2015 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [http://www.smvak.cz/documents/20182/59162/1\\_TS-25.02\\_4.vyd%C3%A1n%C3%AD.pdf/3cec5571-c9c8-4be1-b15b-ad9125d0af7c](http://www.smvak.cz/documents/20182/59162/1_TS-25.02_4.vyd%C3%A1n%C3%AD.pdf/3cec5571-c9c8-4be1-b15b-ad9125d0af7c)
- [14] *Pozemní stavby: Vodojemy* [online]. Ostrava: TEPLOTECHNA OSTRAVA, 2012 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [http://www.tto.cz/pozemni\\_stavby\\_vodojemy.html](http://www.tto.cz/pozemni_stavby_vodojemy.html)
- [15] *HOBAS pro české vodárenství - inovace založena na zkušenostech ze světa* [online]. Vodovod.info, 2014 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://vodovod.info/index.php/clanky/komerčni-prezentace/236-hobas-pro-ceske-vodarenství-inovace-zalozena-na-zkusenostech-ze-sveta#.XNnwOo4zbIV>
- [16] KUČERA, Tomáš. *Vzorový projekt - VDJ 060 (2x30 m3)* [online]. Brno: PREFA BRNO, 2017 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.prefa.cz/nadrze-a-prostorove-prefabrikaty/vodojemy/>
- [17] *Nádrže na požární vodu, spinklery* [online]. Vítkovice: VÍTKOVICE ENVI, 2008 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/dok/wArmmUaRUXdjoBI7>
- [18] ROY, Glenn. Watter tank. IPC: E04F 11/00. USA. Patentový spis, US2008060287A1. 2008-05-13. Dostupné také z: <https://worldwide.espacenet.com/beta/search/family/039168164/publication/US2008060287A1?f=&q=num%20%3D%20%22US2008060287A1%22&queryLang=en%3Ade%3Afr>
- [19] KIELY, William. A multi-chamber tank and method of producing same. IPC: B65D1/00; B65D90/00; E04H 7/18. Velká Británie. Patentový spis, GB2352761A. 2001-02-21. Dostupné také z: <https://worldwide.espacenet.com/beta/search/family/011042069/publication/GB2352761A?f=&q=num%20%3D%20%22GB2352761A%22&queryLang=en%3Ade%3Afr>
- [20] SIMON, Werner. Concrete storage tank for water and other liquids has outline of wall segments in form of symmetrical trapezium. IPC: E04H 7/18. Německo. Patentový spis, DE102007017878 A1. 2008-10-02. Dostupné také z: <https://worldwide.espacenet.com/beta/search/family/039719626/publication/DE102007017878A1?f=&q=num%20%3D%20%22DE102007017878A1%22&queryLang=en%3Ade%3Afr>
- [21] VERGET, Marc. Watter reservoir raised on support mast composed of several flanged tubular elements. IPC: E04H12/30. Francie. Patentový spis, FR2822489A1. 2002-08-27. Dostupné také z: <https://worldwide.espacenet.com/beta/search/family/008861483/publication/FR2822489A1?f=&q=num%20%3D%20%22FR2822489A1%22&queryLang=en%3Ade%3Afr>

- [22] PAYNE, Aly. In: *ADDISON* [online]. 2013 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.addisonmagazine.com/2013/08/not-just-any-water-tower/>
- [23] GEP. In: *Rozhledny ČR* [online]. 2016 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://rozhledny.webzdarma.cz/boskovice.htm>
- [24] TOWNSON, Vicki Elizabeth. In: *Pinterest* [online]. Makanda, Illinois, 2018 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/417638565422693839/>
- [25] In: *Turnovskovakci.cz* [online]. Turnov, 2018 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://old.turnovskovakci.cz/index.php>
- [26] In: *WOLF SYSTEM* [online]. Horoměřice [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.wolfssystem.cz/nase-produkty/zelezobetonove-nadrze/nadrze-pro-oblast-prumyslu/vodojemy>

# SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

## ▪ Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Výpočet akumulčního procenta při gravitačním přítoku 24 hodin [12] .....	16
--	----

## ▪ Seznam obrázků

1.1 Přerušovací vodojem (pásmový) [4] .....	12
1.2 Vyrovnávací vodojem [4] .....	13
1.3 Vodojem ve spotřebišti [4] .....	14
1.4 Vodojem koncový (za spotřebišťem) [4] .....	14
3.1 Vodojem z prefabrikátů s kvádrou nádrží [17] .....	21
3.2 Trubní dvoukomorový vodojem ze sklolaminátových trub [1] .....	22
3.3 Vodojem ze smaltovaných plechů [18] .....	23
3.4 Věžový vodojem Aknaglobus [1] .....	25
3.5 Věžový vodojem Hydroglobus [1] .....	25
3.6 Věžový vodojem s ocelovou nádrží ploché číše [1] .....	26
3.7 Věžový železobetonový vodojem se zdvihanou nádrží [1] .....	26
3.8 Příklady tvarů nádrží železobetonových vodojemů [1] .....	27
3.9 Bednění vodojemu [1] .....	28
3.10 Montáž dřívku vodojemu [1] .....	28
3.11 Hotový věžový vodojem [1] .....	28
3.12 Vyzdvižení nádrže [1] .....	28
5.1 Ilustrační schéma .....	34
6.1 Vodojem u Ohrazenic[25] .....	38
6.2 Vodojem v Boskovicích [23] .....	38
6.3 Vodojem v Arapaho Rd. a Surveyor Blvd [22] .....	39
6.4 Makanda, Illionis[24]. .....	39
6.5 Pohled shora .....	40
6.6 Návrh věžového vodojemu .....	40

# SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$A$	celkový akumulární objem vodojemu	[m <sup>3</sup> ]
$A_{\text{por}}$	požární zásoba	[m <sup>3</sup> ]
$A_{\text{pož}}$	počet odběrných míst	[m <sup>3</sup> ]
$A_v$	vyrovnávací objem, který slouží k vyrovnání rozdílu přítoku a odtoku	[m <sup>3</sup> ]
$d$	průměr potrubí (obecně)	[m]
$d_1$	průměr širšího potrubí	[m]
$d_2$	průměr užšího potrubí	[m]
$g$	tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$h_0$	výška na ose potrubí v bodě 0	[m]
$h_2$	výška na ose potrubí v bodě 2	[m]
$h_3$	výška na ose potrubí v bodě 3	[m]
$k$	délka konfuzoru	[mm]
$l$	délka rovného úseku potrubí (obecně)	[m]
$l_1$	délka potrubí na prvním úseku	[m]
$l_2$	délka potrubí na druhém úseku	[m]
$l_3$	délka potrubí na třetím úseku	[m]
$N$	maximální denní nedostatek	[%]
$n$	počet odběrných míst	[-]
$p_0$	tlak v bodě 0	[Pa]
$p_2$	tlak v bodě 2	[Pa]
$p_3$	tlak v bodě 3	[Pa]
$Q$	průtok (obecně)	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{\text{d,max}}$	maximální denní spotřeba	[m <sup>3</sup> /den]
$Q_p$	odběr požární vody	[l/s]
$S_1$	průřez širšího potrubí	[m <sup>2</sup> ]
$S_2$	průřez užšího potrubí	[m <sup>2</sup> ]
$T$	doba trvání poruchy (v rozmezí 6 – 12 h)	[h]
$t$	doba, po kterou je nutné zajistit zásobu požární vody (v rozmezí 0,5 – 2 h)	[h]
$v_i$	referenční rychlost	[m/s]

$v_0$	střední průřezová rychlost u hladiny nádrže	[m/s]
$v_1$	střední průřezová rychlost v širším potrubí	[m/s]
$v_2$	střední průřezová rychlost v užším potrubí	[m/s]
$v_3$	střední průřezová rychlost v bodě 3	[m/s]
$X$	akumulační procento	[%]
$Y_z$	ztrátová měrná energie	[J/kg]
$Z$	maximální denní přebytek	[%]
$\alpha_0$	Coriolisovo číslo v bodě 0	[-]
$\alpha_2$	Coriolisovo číslo v bodě 2	[-]
$\alpha_3$	Coriolisovo číslo v bodě 3	[-]
$\lambda$	třecí součinitel	[-]
$\xi_i$	ztrátový součinitel	[-]
$\rho$	hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]